

第5章 既設橋への適用に関する検討

5.1 損傷状況の異なる既設橋の現有耐力照査

本解析結果と実橋梁の損傷状態との関係及び既設橋の耐荷力評価への適用性について検討するため、長期供用された撤去橋梁から切り出したひび割れ状態が同程度の床版のうち、貫通ひび割れの有無に着目した2体の床版を対象として輪荷重走行試験及び解析を行った。

ここで、貫通ひび割れ（漏水・遊離石灰）の有無に着目した理由として、国土交通省直轄国道の定期点検要領^{5.1)}に基づく点検データを分析したところ、漏水・遊離石灰がみられる床版が漏水・遊離石灰がみられない床版と比較して早期に損傷が進行する確率が高い可能性があると考えられたためである。なお、既往の研究^{5.2)}では、路面に降った雨水が舗装内を浸透し、床版上面からひび割れ内へと浸透すると、交通荷重の繰返しによってひび割れが開閉を繰返し、浸透水がひび割れ面の摩耗（こすりあわせ現象及びポンピング現象）が生じ、これらの劣化現象がRC床版の疲労寿命を距端に低下させることがRC床版上面に水を張った状態での輪荷重走行試験によって実証されている。これに対して、現行設計基準では、床版防水層及び排水設備で構成される床版防水を設置することとしている。このことから、本研究においては、床版内部に水が浸入することは防止しているという前提で、貫通ひび割れの有無が疲労耐久性に与える影響の差のみを対象としている。

5.2 撤去橋梁の輪荷重走行試験

(1) 対象橋梁

試験の対象とした橋梁の架橋時の状況を、写真-5.2.1から写真-5.2.4及び図-5.2.1に示す。

当該橋梁は、市街地に位置する橋梁である。昭和39年道路橋示方書で設計され、昭和47年に供用後約40年にわたり供用されていたものの、新橋の架設により河積阻害率が基準値を上回ることから撤去することになったものである。設計活荷重はTL-14として設計され、その後床版に補修補強をされていない。床版厚は170mmと薄く、舗装厚も50mmで設計されているものの、走行位置によってはアスファルト舗装が摩耗して無くなっている箇所もあった。



写真-5.2.1 全景



写真-5.2.2 床版下面損傷状況



写真-5.2.3 舗装の摩耗状況



写真-5.2.4 床版上面の状況

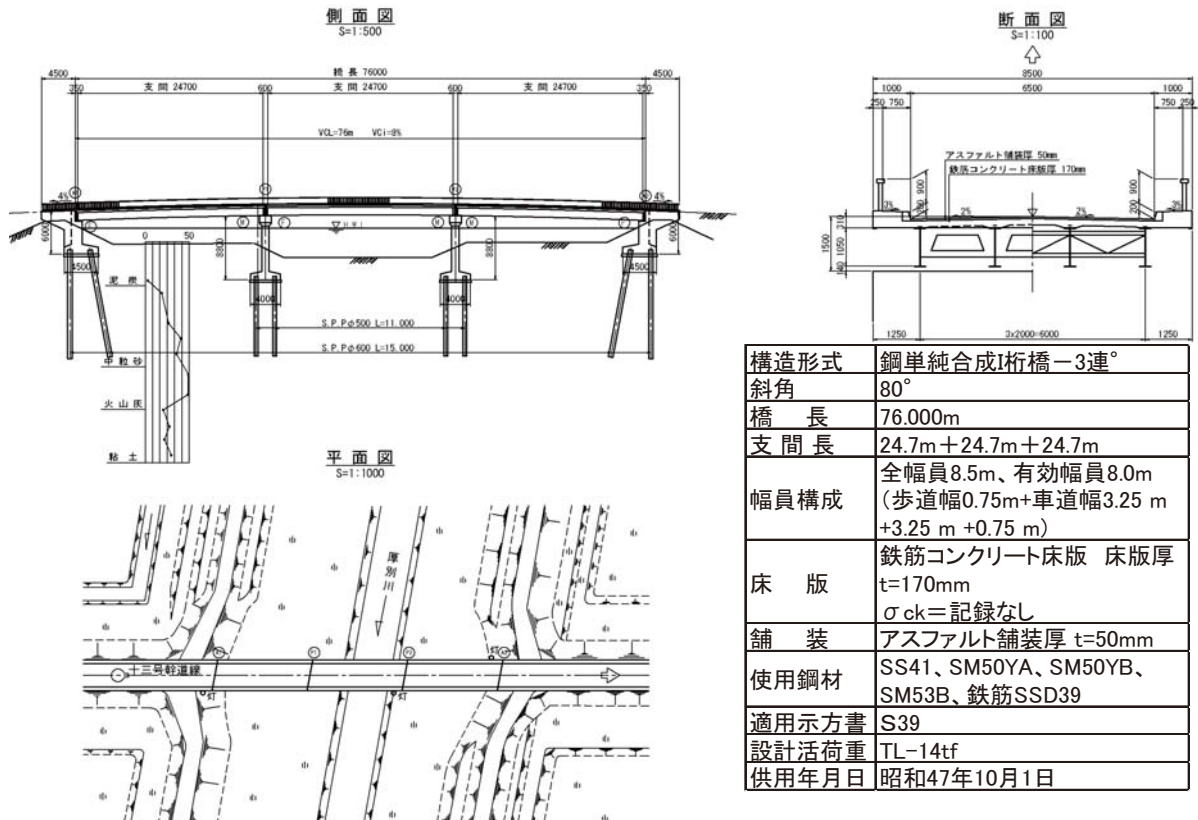


図-5.2.1 試験対象の橋梁一般図

(2) 供試体の選定

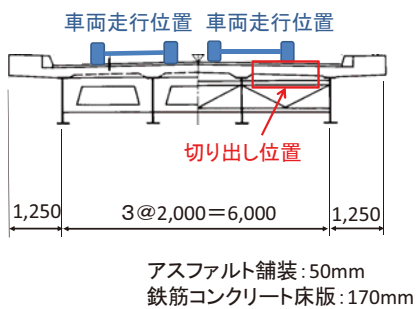
撤去橋梁から切り出した床版は図-5.2.2 に示す全 30 体であり、試験に用いる供試体の選定の考え方は、次のとおりである。

このうちひび割れの程度及び貫通クラックの有無に着目し、次に示すとおり分類した。

- ・ ひび割れの程度 (ひび割れ間隔 0.2m 以下) : 2,5,10,18,20,28,30
- ・ ひび割れの程度 (ひび割れ間隔 0.2m 程度) : 1,15,25,27,29
- ・ 貫通クラックあり (漏水・遊離石灰から判断) : 1,2,5,15,18,27,28

ひび割れ間隔が同程度 (0.2m 程度) の床版の中から、床版中央部に明瞭な遊離石灰がある供試体 No.1 と、遊離石灰のない供試体 No.25 を選定した。供試体 No.25 については、透水試験により貫通ひび割れが生じていないことを確認した。

図-5.2.3 に床版下面のひび割れ状況を示す。



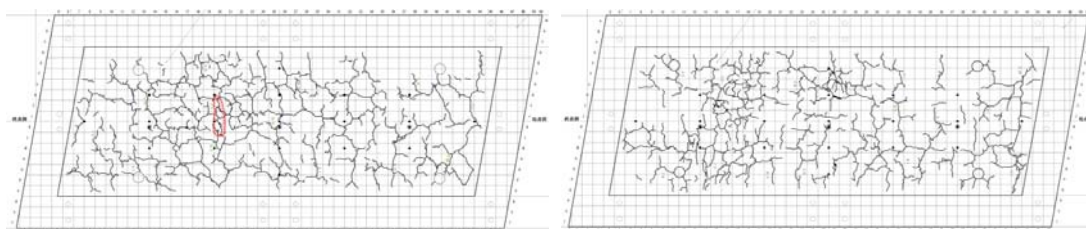
		当該床版
床版支間		2.0m
床版厚		170mm
主鉄筋	上面	D16@250
	下面	D16@125
配力鉄筋	上面	D16@300
	下面	D16@150
試験体幅		2.0m

		A1	P1					P2					A2			
始 点 側	G1	1	4	7	10	13					16	19	22	25	28	終 点 側
	G2	2	5	8	11	14					17	20	23	26	29	
	G3	3	6	9	12	15					18	21	24	27	30	
	G4															

※下面の展開図

- 貫通ひび割れあり (供試体 No. 1) 貫通ひび割れなし (供試体 No. 25)
- コンクリートの物性調査に利用 (供試体 No. 27)

図-5.2.2 車両走行位置と切り出し床版との関係



(a) 供試体 No. 1

(b) 供試体 No. 25

図-5.2.3 床版下面ひび割れ状況



(a) 供試体 No. 1



(b) 供試体 No. 25

写真-5.2.5 床版下面ひび割れ状況

(3) 供試体の加工

供試体は、輪荷重走行試験機に設置できるように、切り出した床版端部をはつた上で、不足する寸法分の鉄筋を溶接で接ぎ足しコンクリートを打設し加工した。図-5.2.4に供試体配筋図を、図-5.2.5に床版加工図を示す。加工後の供試体は、解析により実橋梁と同様の挙動となることを確認している。供試体加工状況を写真-5.2.6に示す。

舗装を切削した供試体床版は、輪荷重走行試験機の鉄輪からの載荷荷重を均一に試験体に伝えるために、床版上面を平滑化処理する必要がある。供試体床版上面を切削して平滑化するには相当量削る必要があるため、エポキシ樹脂を塗布する方法を採用した。エポキシ樹脂が既設コンクリートに侵入して硬化させないよう、床版上面にビニールシートを敷いた上に塗布した。また、試験中にエポキシ樹脂が割れて載荷ブロック外にはみ出す恐れがあるため、エッジ部分のみブチルテープで試験体と接着した（写真-5.2.7参照）。

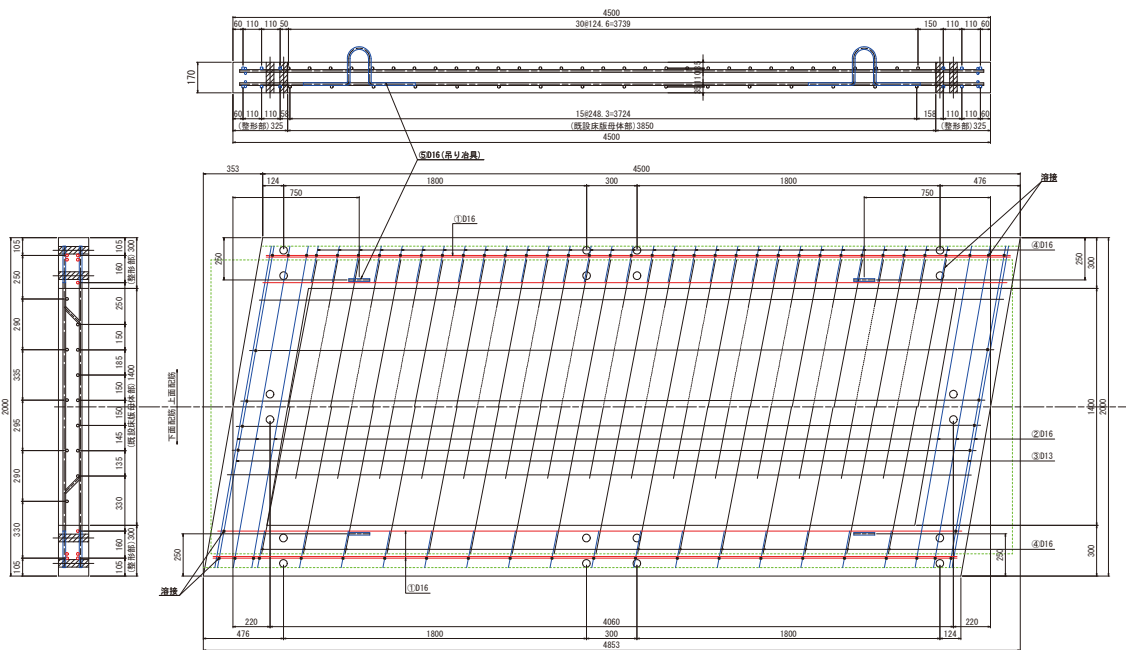


図-5.2.4 供試体配筋図

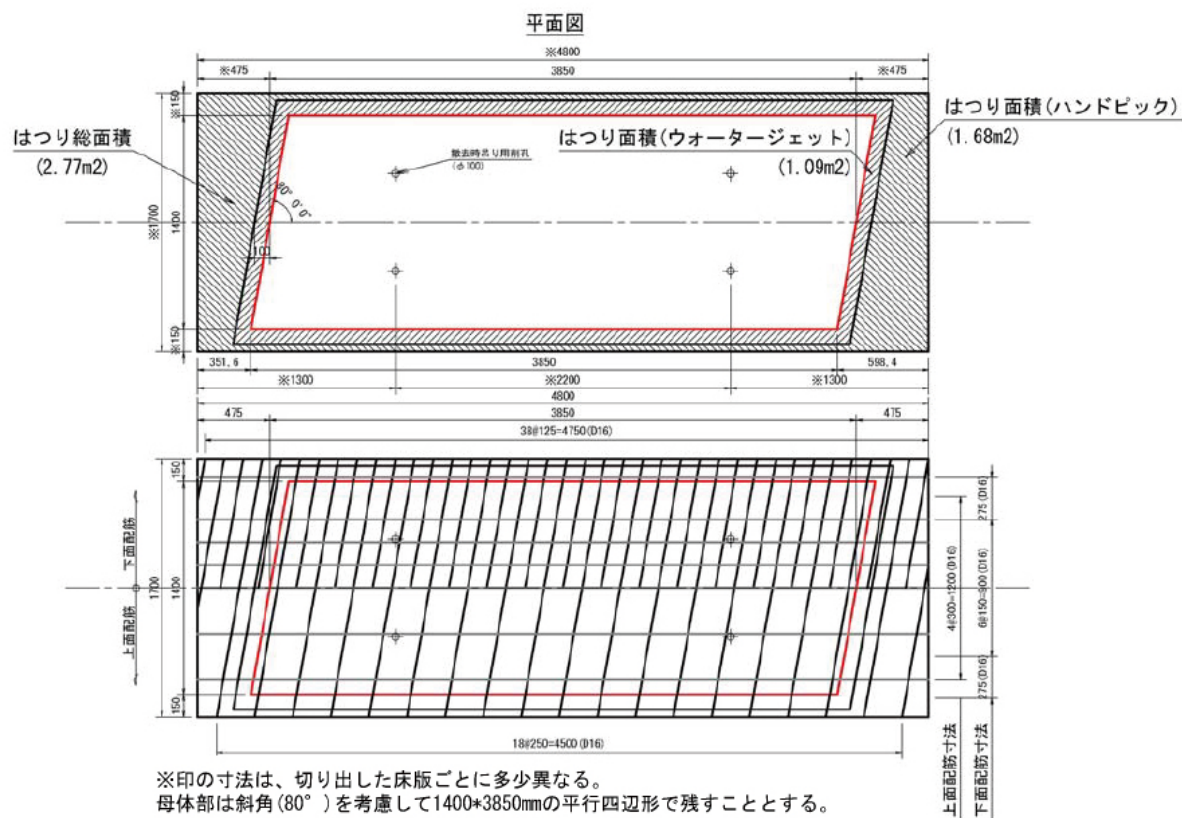


図-5.2.5 床版加工図



写真-5.2.6 床版加工状況



写真-5.2.7 床版上面平滑化加工状況
(エポキシ樹脂塗布)

(4) 材料物性

図-5.2.2に示す、既設床版から切り出したコンクリートコア及び鉄筋から、材料物性を調査した結果を表-5.2.1及び表-5.2.2に示す。

表-5.2.1 コンクリートコア抜き試験結果

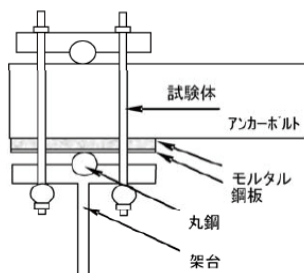
供試体	試料名	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
No.1	A	32	27.6
	C	34.1	27
	平均	33.1	27.3
No.25	D	34.1	22.3
その他試料を含む平均		31.0	23.2

表-5.2.2 鉄筋引張試験結果

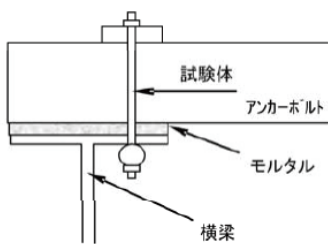
供試体	試料名	降伏点 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
No.1	1L-主筋	361	232
	1R-主筋	393	203
	1L-配力筋	361	203
	平均	372	213
No.25	1L-主筋	378	206
	1R-主筋	388	195
	1L-配力筋	394	204
	平均	387	202
その他試料を含む平均		380	205

(5) 支持条件

供試体の支持は図-5.2.6のとおり、橋軸方向には弾性支持、橋軸直角方向は単純支持とした。



(a) 試験体の支持構造(橋軸方向) (b) 橋軸方向支持(単純支持(回転可能)) (c) 橋軸直角端部の横桁



(d) 試験体の支持構造(橋直方向) (e) 上側(弾性支持) (f) 下側(弾性支持)

図-5.2.6 供試体の支持条件

(6) 試験機

輪荷重走行試験機は独立行政法人土木研究所が所有する 1 号機を使用した（図-5.2.7）。輪荷重の幅は 300mm とし、載荷範囲は±1.5m とした。

所定の走行回数ごとに、供試体下面側に配置した変位計及びコンクリート、鋼板に貼り付けたひずみゲージの値を計測した。



項目		仕様	
形状・寸法	試験機寸法	フレーム：高さ約5m×長さ約8m フライホイール：直径3.5m、重さ10tf	
	供試体最大寸法	幅3.0m×長さ4.5m×厚さ0.35m（床版） 治具の取り替えにより桁部を含めた実験も可能	
	車輪の種類	鉄輪：直径700mm×幅300mm 鉄輪：直径700mm×幅500mm ゴムタイヤ：9.00-R20-14PR相当（ダブル）	
性能	駆動	走行範囲	±0.5/±1.0/±1.25/±1.5m
		最大回転速度	59.8/42.3/37.8/34.7rpm
	載荷	最大載荷力	走行時：50tf（490kN） 停止時：100tf（981kN）
		最大載荷ストローク	200mm
その他	設置台数	2基：1号機（レッド）、2号機（イエロー）	
	設置場所	（独）土木研究所 構造力学実験施設	

図-5.2.7 輪荷重走行試験機（土木研究所）

(7) 載荷荷重

載荷荷重は図-5.2.8 のとおり 157kN の一定載荷とした。

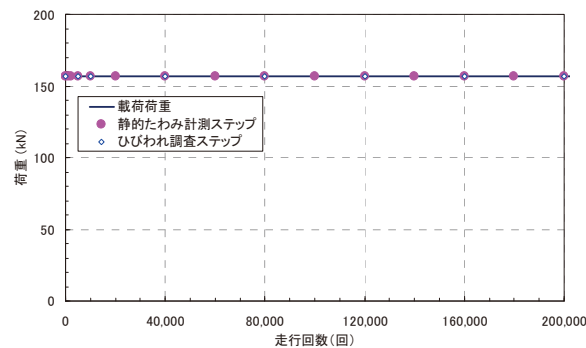


図-5.2.8 初期載荷時のたわみ（床版支間（橋軸直角）方向）

(8) 輪荷重走行試験前の初期たわみ

撤去床版の初期状態を把握するため、輪荷重走行試験前に支間中央に 157kN を定点载荷し、活荷重たわみを計測した結果を図-5.2.9 に示す。健全な場合のたわみと、引張側コンクリートを無視したときの計算値についても算出している。

貫通ひび割れが発生している供試体 No.1 は貫通ひび割れのない供試体 No.25 に比べてたわみが大きいが、いずれも引張側コンクリートを無視した際の活荷重たわみを下回っていた。

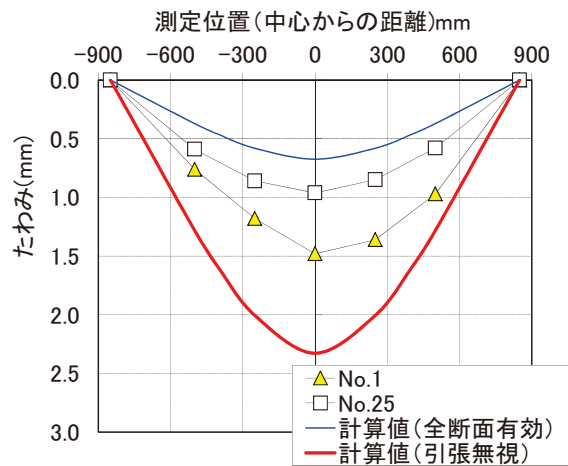


図-5.2.9 初期载荷時のたわみ（床版支間（橋軸直角）方向）

(9) 輪荷重走行試験結果

表-5.2.3 の供試体 No.1 (貫通ひび割れあり) 及び供試体 No.25 の輪荷重走行試験結果のうち、図-5.2.10 に活荷重たわみ及びひび割れ密度の走行回数ごとの増加傾向を示す。供試体 No.1 は、20,050 回でたわみが急増し、試験を終了した。一方、供試体 No.25 は 20 万回を超えても大きな変状はなく、試験を終了した。ひび割れ密度は、供試体 No.1 は試験前 9.3m/m² から試験後 17.2 m/m² に増加、供試体 No.25 は 9.2m/m² から試験後 14.2m/m² に増加した。

表-5.2.3 各供試体の破壊時走行回数

供試体名	コンクリート		破壊時荷重 (kN)	走行回数 (回)	ひび割れ密度 (m/m ²)	破壊状況
	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)				
No.1	33.1	27.3	157	20,050	9.3→17.2	押し抜きせん断破壊
No.25	34.1	22.3	157	200,000	9.2→14.2	未破壊

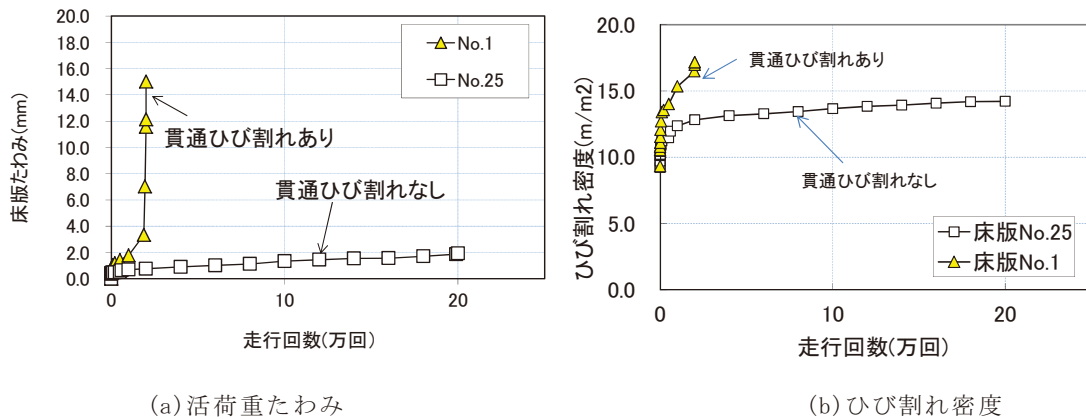


図-5.2.10 輪荷重走行試験結果

(10) 輪荷重走行試験前後のひび割れ図

①床版 No. 1 (貫通ひびわれあり)

輪荷重走行試験前のひび割れ図を図-5.2.11に、試験後のひび割れを図-5.2.12～14に示す。押し抜きせん断破壊し、床版上面は砂利化していた。

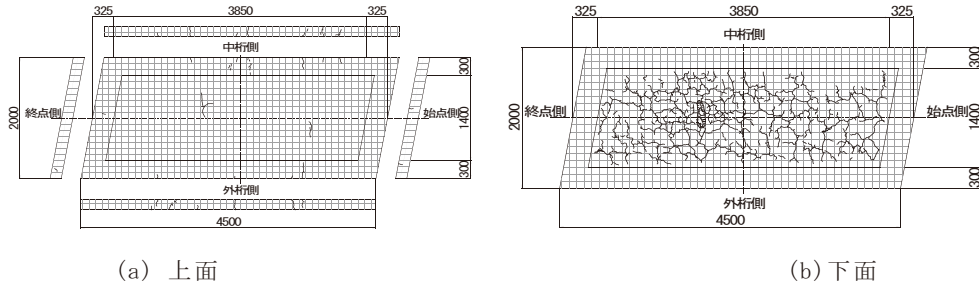


図-5.2.11 試験前床版ひび割れ図

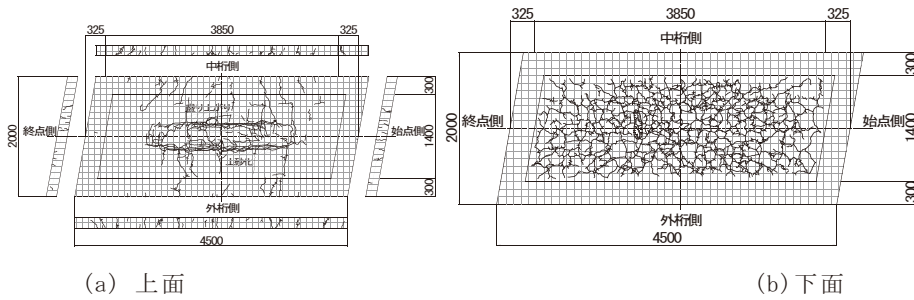


図-5.2.12 試験後(20,050回走行)床版ひび割れ図



図-5.2.13 試験後床版橋軸方向中央断面ひび割れ図 (供試体 No. 1)

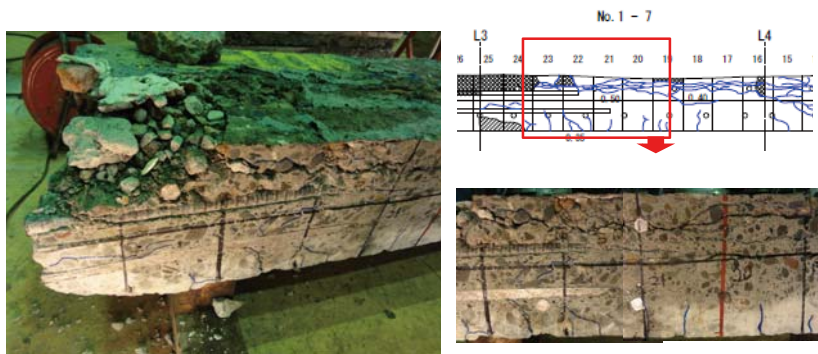
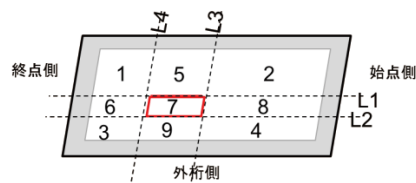


図-5.2.14 輪荷重走行試験後切断試験 (供試体 No. 1 貫通ひび割れあり)

②床版 No. 25 (貫通ひびわれなし)

輪荷重走行試験の結果を図-5.2.15~17に示す。20万回を超えても大きな変状はなく、試験を終了した。

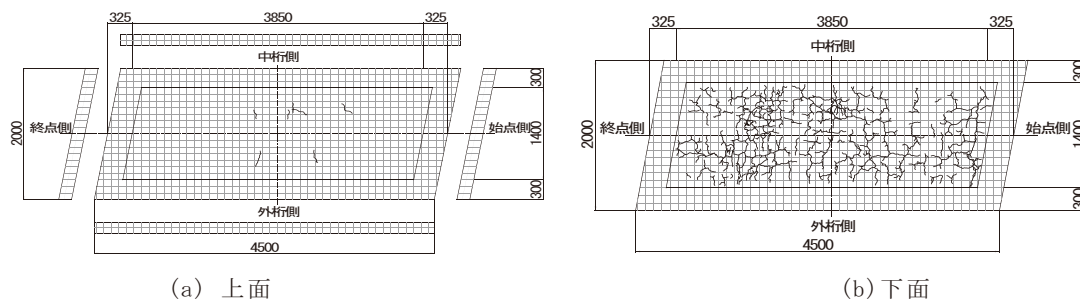


図-5.2.15 試験前床版ひび割れ図

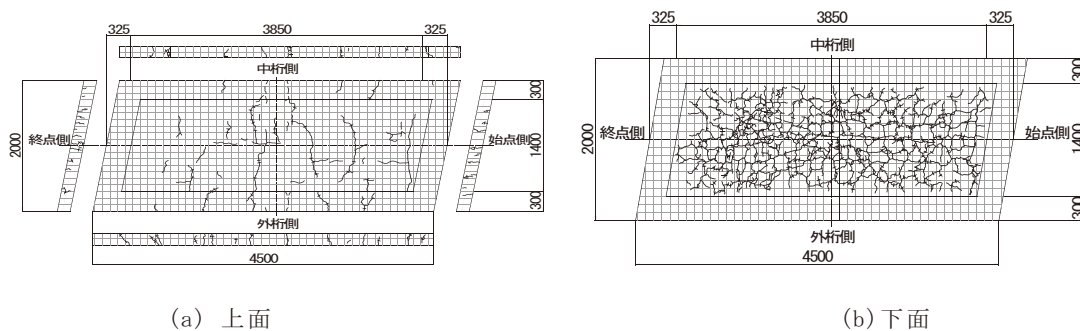


図-5.2.16 試験後(20万回走行)床版ひび割れ図

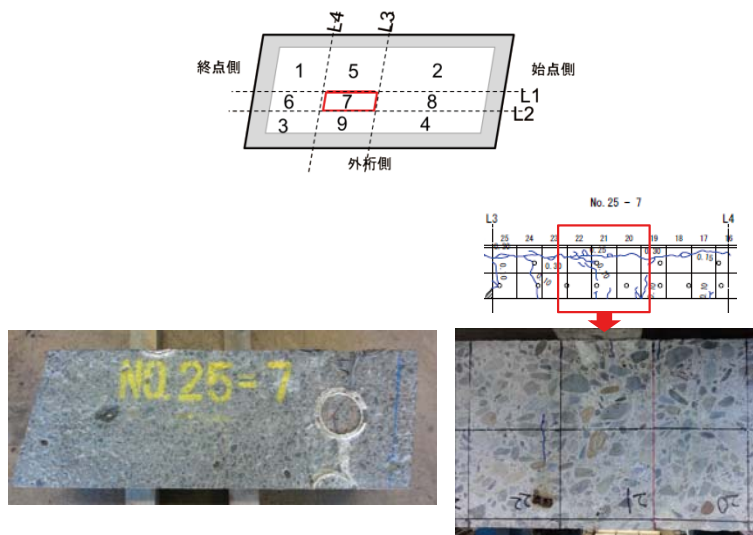


図-5.2.17 輪荷重走行試験後切断試験(供試体 No. 25 貫通ひび割れあり)

5.3 疲労損傷解析

貫通ひび割れに着目した輪荷重走行試験結果より、貫通ひび割れが生じている床版は、貫通ひび割れが生じていない床版と比較して破壊に至る回数が早いことがわかった。

本報告書で提案する解析手法を用いて、本解析と貫通ひび割れの有無との関係及び既設橋の耐荷力評価への適用性について検証した。

解析は、輪荷重走行試験と同様、一定荷重(157kN)走行とした。輪荷重走行試験の解析としては撤去橋梁から切り出した床版を対象とした。

(1) 解析ケース

解析ケースを表-5.3.1に示す。解析ケース1は、既設床版の初期の損傷状態を把握するためひび割れが全くない解析モデルを作成し、供試体 No.1 及び 25 と同様のたわみ性状となるまで輪荷重を繰返し載荷する。

ケース2は、貫通ひび割れの有無に着目した解析を行う。ケース2-1は、貫通ひび割れの無い供試体 No.25 を想定し、床版の厚さ方向に5分割した要素のうち最下層から3層目までをあらかじめ剛性低下させて、輪荷重を繰返し載荷する。ケース2-2は、床版の貫通ひび割れ想定位置の最下層から最上層までの剛性をあらかじめ低下させておき、輪荷重を繰返し載荷する。ケース2-1,2-2を比較することで、あらかじめ損傷をモデル化することにより、本解析による既設床版の疲労耐久性評価の適用性について検証する。

表-5.3.1 解析ケース

解析ケース		解析モデル	対象とする 実験供試体
1	初期の損傷状態を把握するための解析	【ひび割れなし】 ひび割れが全くない状態から、供試体 No.1 又は 25 と同様のたわみ性状となるまで解析する。	No.1,25
2-1	貫通ひび割れの有無に着目した解析	【貫通ひび割れなし】 床版の厚さ方向に5分割した要素のうち最下層から3層目までをあらかじめ剛性低下させる。	No.25
2-2		【貫通ひび割れあり】 床版の厚さ方向に5分割した要素のうち最下層から最上層までをあらかじめ剛性低下させる。	No.1

(2) 解析モデル

次の条件でモデルを構築し解析を行った。解析は弾性 **FE** モデルとし、疲労による破壊の最小評価単位となる要素の大きさは、床版のコンクリートを等しく同じ破壊条件で独立に評価する方法で扱うため、**100×100mm** 程度とした。床版厚さ方向に 5 分割の 6 面体ソリッド要素を基本とした。鉄筋を含む要素では、コンクリートの母要素と自由度を共有する従属要素「埋め込み鉄筋要素」を用いて鋼材をソリッド要素に埋め込みモデル化した。解析は、汎用 **FEM** 解析ソフト「**DIANA**」を用いた。

解析モデルを図-5.3.1, 図-5.3.2 及び表-5.3.2 に示す。

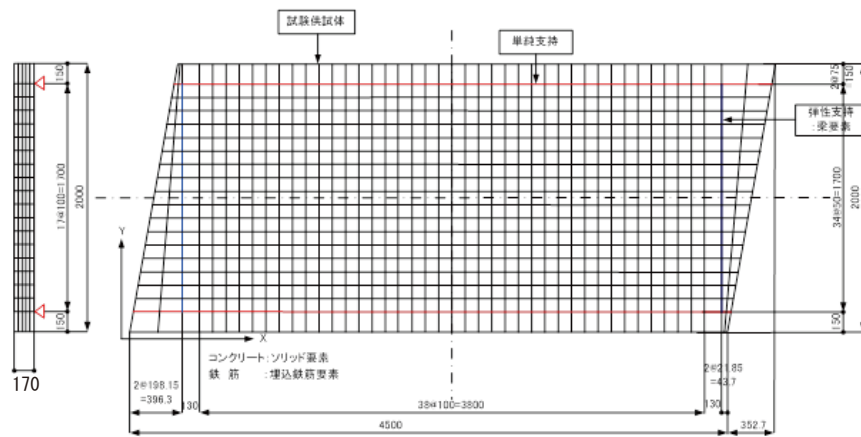


図-5.3.1 解析モデル図

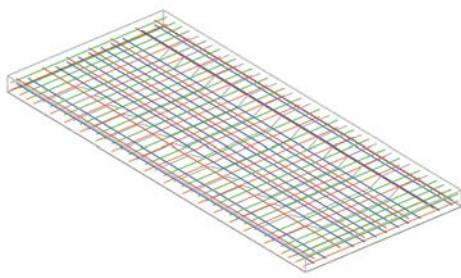


図-5.3.2 全体解析モデル図 (埋め込み鉄筋要素配置図)

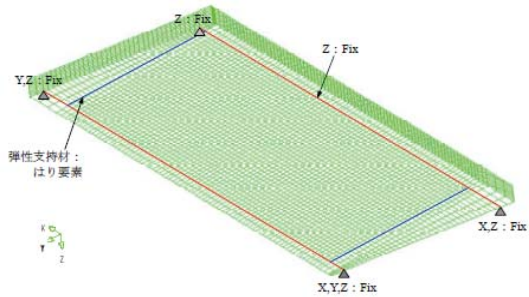


図-5.3.3 境界条件

表-5.3.2 材料定数

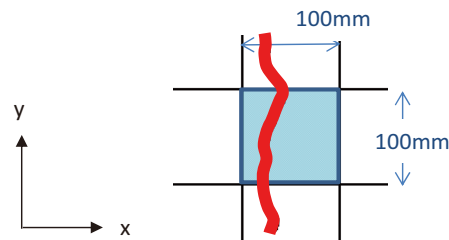
		解析モデル (1,2-1,2-2)	試験体 (No.1)	試験体 (No.25)	
供試体幅		2000	2000	2000	
床版支間		1700	1700	1700	
横桁間隔		4500	4500	4500	
床版厚		180	180	180	
コン ク リ ー ト	圧縮強度 σ_{ca} (N/mm ²)	24	33.1	34.1	
	引張強度 σ_t (=0.23 $\sigma_{ck}^{2/3}$) (N/mm ²)	1.91	2.37	2.42	
	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	2.50×10^4	2.73×10^4	2.23×10^4	
	せん断弾性係数 $G(=E_c/2.3)$ (N/mm ²)	10870	11870	9696	
	ポアソン比 ν	0.2	0.2	0.2	
鉄 筋	ヤング係数 E_s (N/mm ²)	2.00×10^5	2.13×10^5	2.02×10^5	
	鉄筋径	16	16	16	
	鉄筋間隔	主鉄筋(上)	250	250	250
		(下)	125	125	125
		配力筋(上)	300	300	300
		(下)	150	150	150
	かぶり	35	35	35	
	鉄筋比(%)	1.32	1.32	1.32	
	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	7.69×10^4	-	-	
ポアソン比 ν	0.3	0.3	0.3		
境 界 条 件	弾性支持材	はり要素	はり要素	はり要素	
	A (mm ²)	5500	5500	5500	
	Iy (mm ⁴)	3.62×10^6	3.62×10^6	3.62×10^6	
	Ix (mm ⁴)	3.375×10^7	3.375×10^7	3.375×10^7	

(3) ひび割れのモデル化

解析ケース 2-1,2-2 においては、供試体 No.1,25 の床版のひび割れをあらかじめ方向別に剛性低下させることで表現した。供試体 No.25 において解析上の 1 要素あたり (100mm×100mm) の床版下面のひび割れ長を計測し、要素を横切るひび割れの形状より、人為的にひび割れの方向を識別して x,y,xy 各方向性の剛性低下を設定する。図-5.3.4 に x 方向の剛性を低下させた場合のひび割れの例を示す。

ケース 2-1 及び 2-2 の剛性低下させる位置は同じとし、いずれも 5 層のうち最下層から 3 層目までを剛性低下させた。ただし、ケース 2-2 の貫通ひび割れ位置においては、最下層から最上層までを剛性低下させた。

床版下面の初期ひび割れと剛性低下領域を図-5.3.5 から図-5.3.7 に示す。図-5.3.6 及び図-5.3.7 に示す緑枠は、計算上の構造が不安定な状態となり解析不能にならないよう、対象供試体の支持点付近には剛性低下させないように範囲を定めたものである。



- パターン認識 →x 方向剛性低下
- パターン認識 →y 方向剛性低下
- パターン認識 →xy 2 方向剛性低下

図-5.3.4 要素ごとの剛性低下要素の設定 (x 方向を剛性低下とした例)

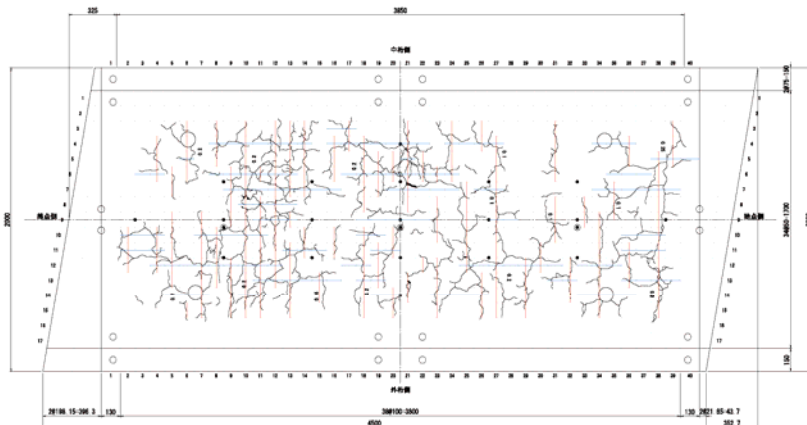


図-5.3.5 ケース 1,2 床版下面の初期ひび割れと剛性低下領域 (第 1 層 (最下層))

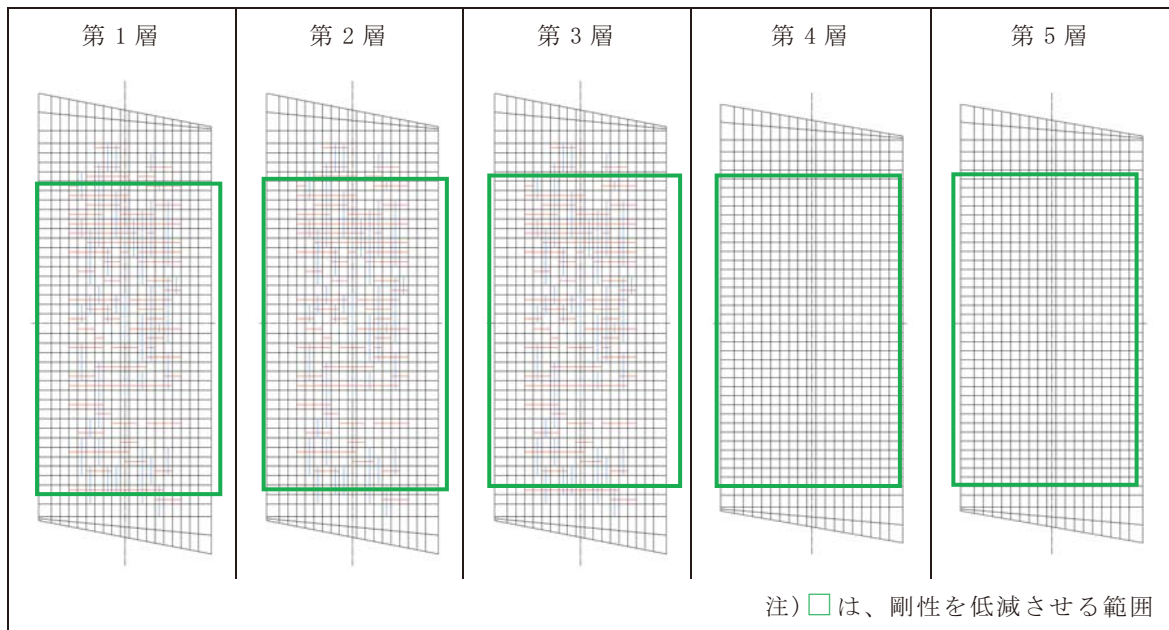


図-5.3.6 ケース 1, 2-1 (供試体 No. 25 貫通ひび割れなし) 床版初期ひび割れ状態の破壊要素図

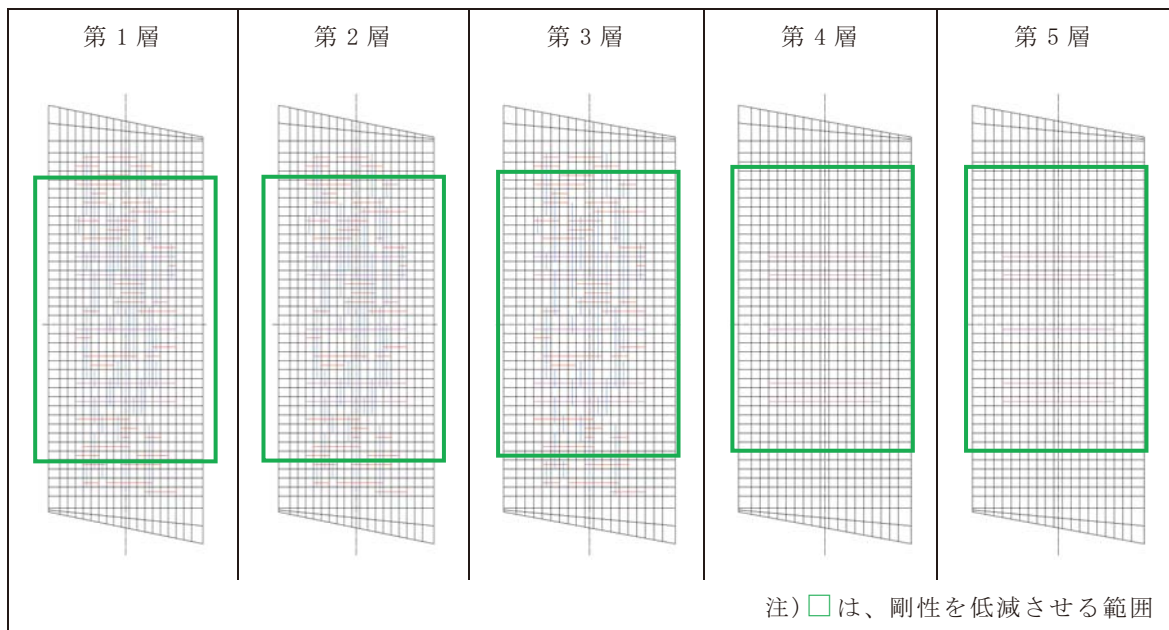


図-5.3.7 ケース 2-2 (供試体 No. 1 貫通ひび割れあり) 床版初期ひび割れ状態の破壊要素図

- <凡例>
- X方向剛性低下
 - Y方向剛性低下
 - ⊕ XY2方向剛性低下
 - ⊗ Z方向剛性低下
 - ✱ XYZ3方向剛性低下

※グレー着色部が
初期導入ひび割れ

(4) 載荷荷重

荷重載荷条件を図-5.3.8に示す。荷重は、節点荷重の群（合計157kN）を15箇所に順次静的載荷し、載荷範囲は輪荷重走行試験の載荷ブロックと同じ200×500mmとした。

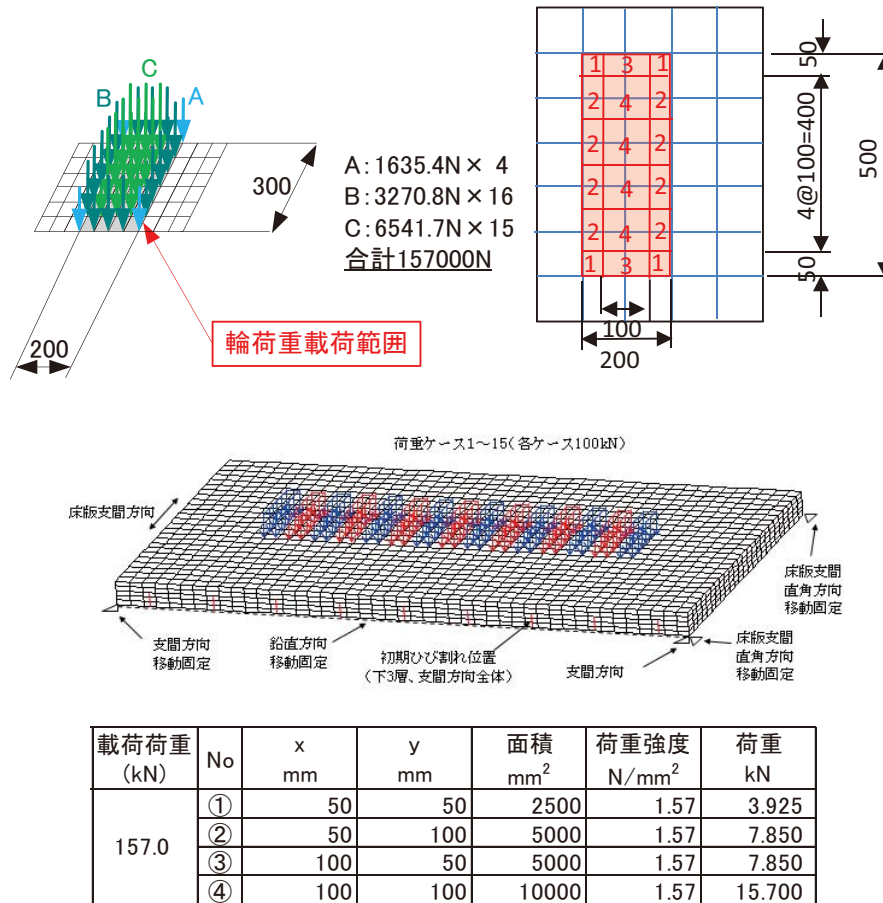


図-5.3.8 荷重載荷条件

(5) 輪荷重走行試験結果と解析結果の比較

1) ケース 1

図-5.3.9 及び図-5.3.10 にケース 1 の床版中央たわみの解析結果を、図-5.3.11 に剛性低下要素の増加傾向を、図-5.3.6 に輪荷重走行試験において実測した初期たわみと解析のたわみとの比較を示す。

貫通ひび割れのない供試体 No.25 の初期たわみと同等となる走行回数は 3000 回程度であるが、483 回には 5 層に分けた床版上層から 2 層目まで縦方向の剛性低下が生じた。また、供試体 No.1 との比較においては 1.8×10^7 回程度で初期たわみと同等となり、ほぼ全層にわたって剛性低下している。また、2.2 で設定したそれぞれの定義に該当する走行回数を表-5.3.3 に、解析結果との比較を図-5.3.11 に示す。これらのことから、供試体 No.1 と同等のたわみが生じた解析モデルを用いて、輪荷重走行試験と同様に破壊に至るまでの解析は困難であることがわかった。

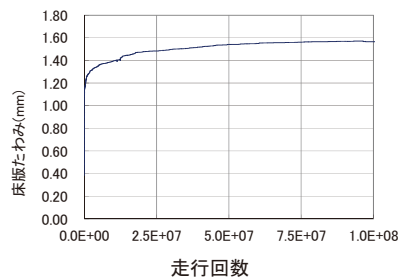
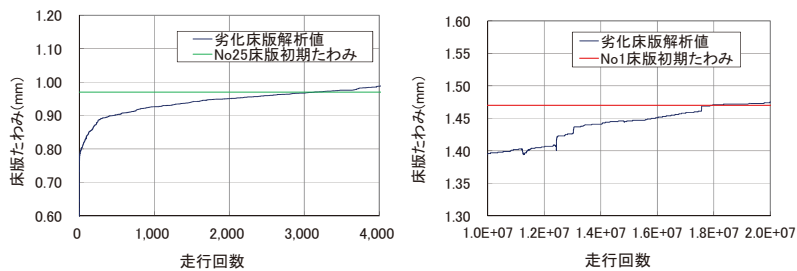


図-5.3.9 ケース 1 解析結果 (床版中央たわみ)



(a) 供試体 No. 25 との比較

(b) 供試体 No. 1 との比較

図-5.3.10 解析結果 (床版中央たわみ) と既設床版の初期たわみ

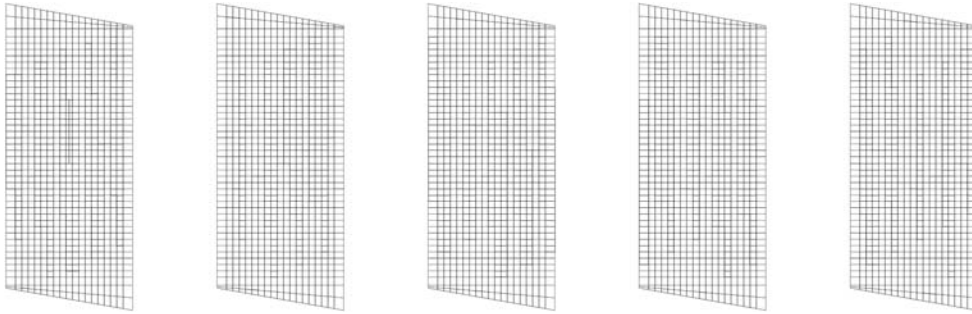
表-5.3.3 ケース 1,2 試験結果と解析結果の比較

	定義 A	定義 C	実験結果
ケース 1(157kN)	0.00434 回	129,000 回	No.25 : 20 万回以上、No.1 : 20,050 回
【参考】 実態調査(157kN)	2,408,173 回 (S-N 線図より傾き $m=18.3$)		

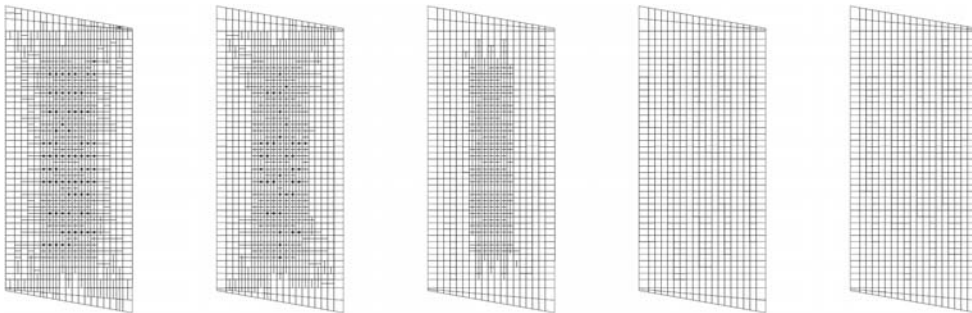
定義 A : 上側配力鉄筋が引張側に応力が転換した回数を疲労破壊の限界値とする。

定義 C : 第 2 層に z 方向の剛性低下 (水平方向にひび割れが発生) した回数を限界値とする。

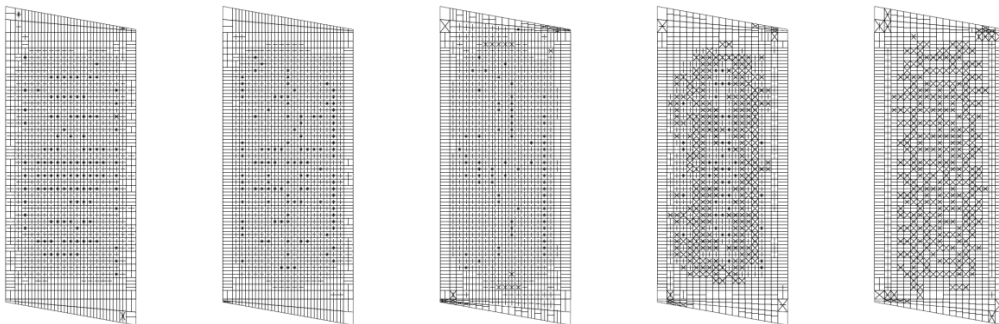
(a) Step10 (走行回数 0 回、ケース 1)



(b) Step2,000 (走行回数 483 回、ケース 1)



(c) Step7,000 (走行回数 3.34×10^7 回、ケース 1)



<凡例>	
	X方向剛性低下
	Y方向剛性低下
	XY2方向剛性低下
	Z方向剛性低下
	XYZ3方向剛性低下

※グレー着色部が
初期導入ひび割れ

図-5.3.11 剛性低下要素の増加傾向 (ケース 1)

2) ケース 2

ケース 1 において、ケース No. 1 の輪荷重走行試験における押し抜きせん断破壊までの経緯を解析で再現することが困難であることがわかった。そこで、解析を輪荷重走行試験結果の絶対値を合わせるのではなく、貫通ひび割れの有無による疲労耐久性の相対関係について、試験値と比較するための解析を実施した。

図-5.3.12(a), (b)に輪荷重走行試験と解析のたわみの推移を比較したものを示す。図-5.3.12 (b)は、走行回数 100 回(走行回数 100 回)までを拡大したものである。床版たわみは初期の段階から試験値よりも解析値の方が小さいものの、移動荷重の繰返しによってたわみが徐々に増加していく様子については、解析で表現できている。また、図-5.3.13 に示す橋軸方向たわみ分布の解析結果と実測値との比較から、たわみの実測値は解析値に比べ大きいものの曲線形状がほぼ相似であった。

次に、ケース 2-1, 2-2 それぞれの剛性低下要素の推移を図-5.3.19 及び図-5.3.25 に示す。ケース 2-1 の貫通ひび割れがない床版のモデルでは、床版の上から 2 層目に剛性低下領域が拡大していく傾向であるのに対して、ケース 2-2 の貫通ひび割れがある床版のモデルは上から 2 層目よりも最上層の破壊の方が早く剛性低下領域が拡大していく違いがあった。

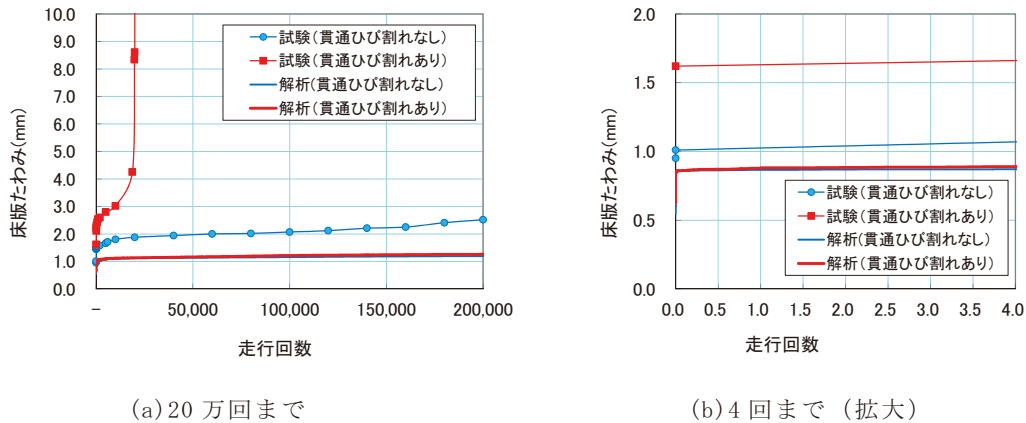
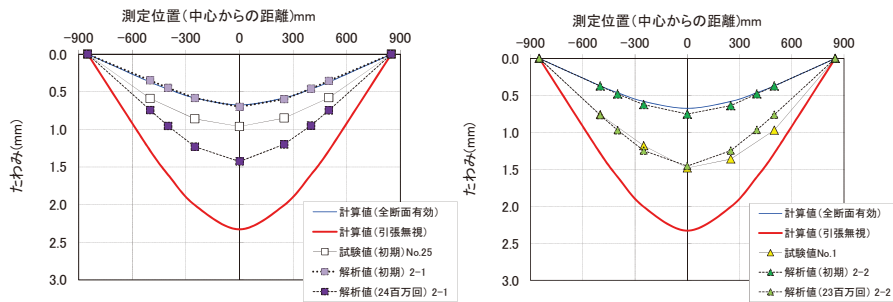


図-5.3.12 たわみの比較



(a) ケース 2-1 (貫通ひび割れなし) (b) ケース 2-2 (貫通ひび割れあり)

図-5.3.13 橋軸方向たわみ分布の解析結果と実測値との比較

① ケース 2-1 (貫通ひび割れなし)

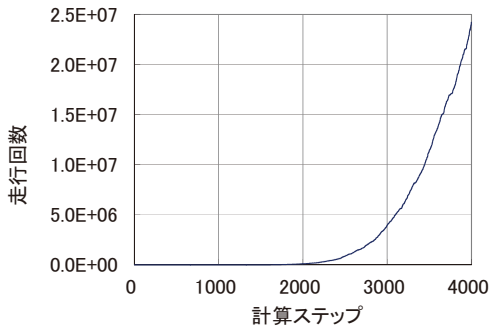


図-5.3.14 計算ステップと走行回数

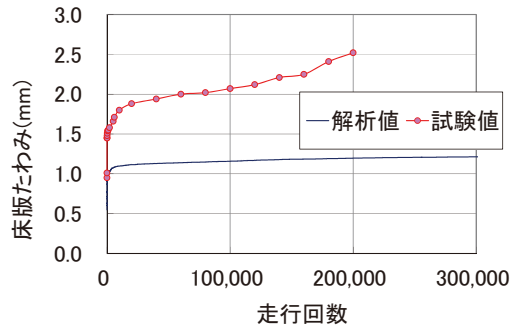
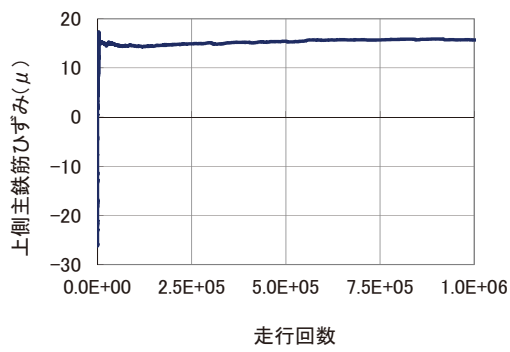
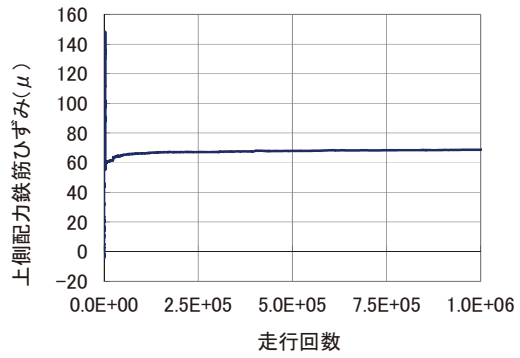


図-5.3.15 走行回数と床版たわみとの関係

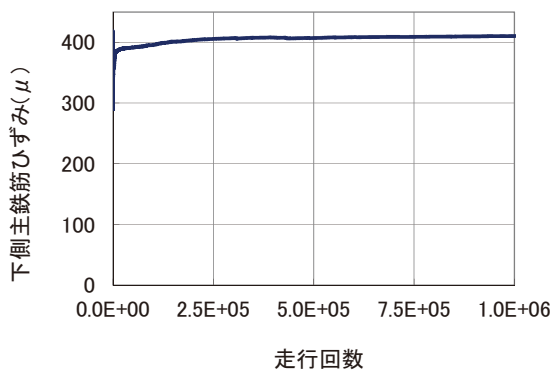
(床版下面中央点) (ケース 2-1(貫通ひび割れなし))



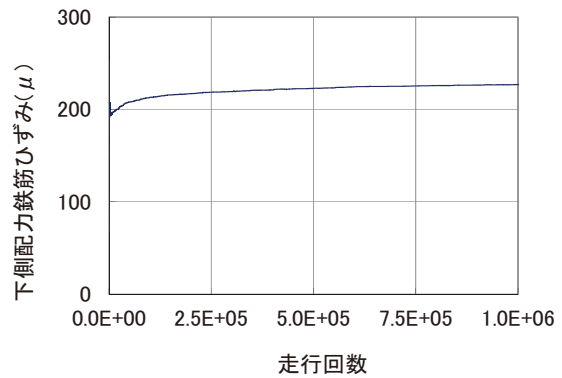
(a) 圧縮(上)側主鉄筋



(b) 圧縮(上)側配力筋

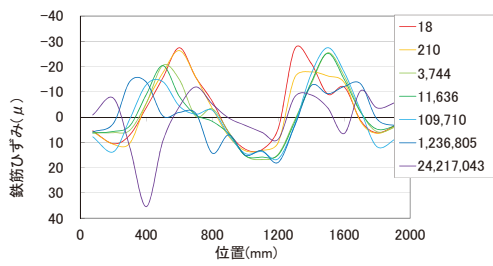


(c) 引張(下)側主鉄筋

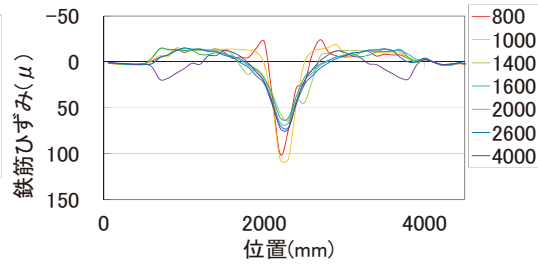


(d) 引張(下)側配力筋

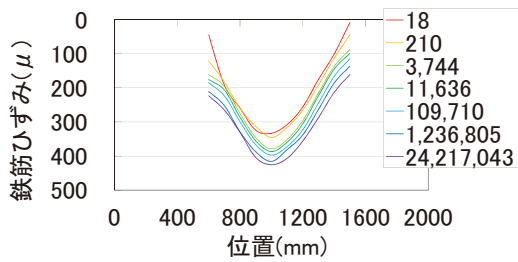
図-5.3.16 鉄筋ひずみの推移 (ケース 2-1(貫通ひび割れなし))



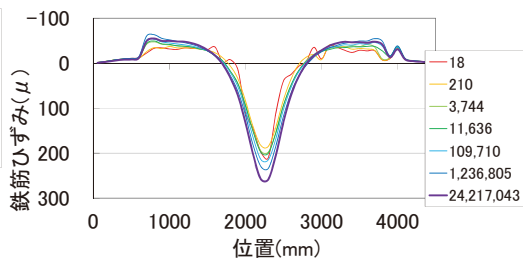
(a) 圧縮(上)側主鉄筋



(b) 圧縮(上)側配力筋

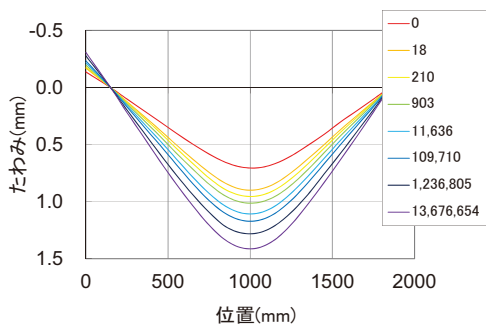


(c) 引張(下)側主鉄筋

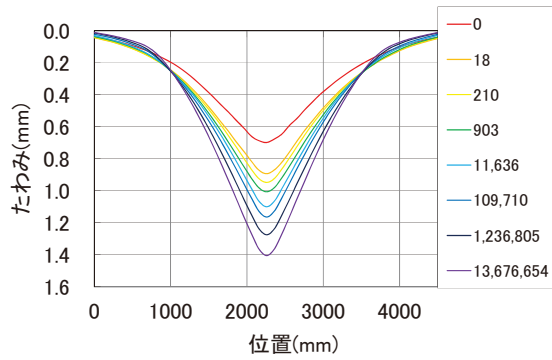


(d) 引張(下)側配力筋

図-5.3.17 鉄筋ひずみ分布の推移 (ケース 2-1(貫通ひび割れなし))



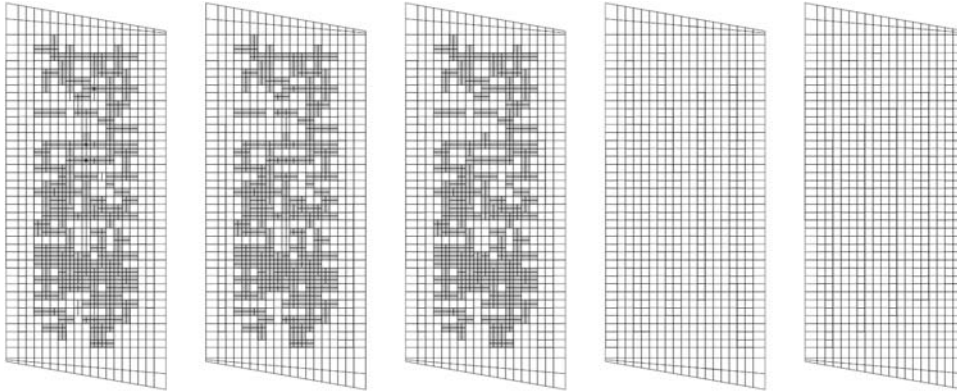
(a) 橋軸直角(床版支間)方向



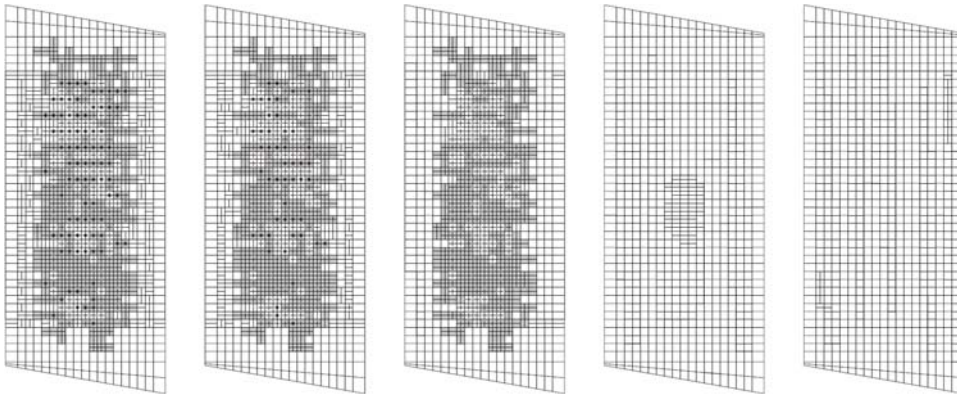
(b) 橋軸方向

図-5.3.18 たわみ分布の推移 (ケース 2-1(貫通ひび割れなし))

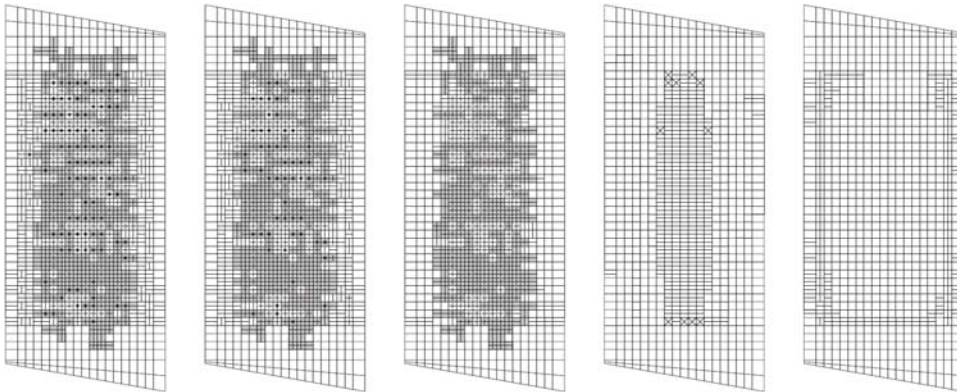
(a) Step63 (走行回数 0)



(b) Step1400 (走行回数 3,740 回)



(c) Step2000 (走行回数 110,000 回)



<凡例>

	X方向剛性低下
	Y方向剛性低下
	XY2方向剛性低下
	Z方向剛性低下
	XYZ3方向剛性低下

※グレー着色部が
初期導入ひび割れ

図-5.3.19 剛性低下要素の増加傾向 (ケース 2-1(貫通ひび割れなし))

① ケース 2-2 (貫通ひび割れあり)

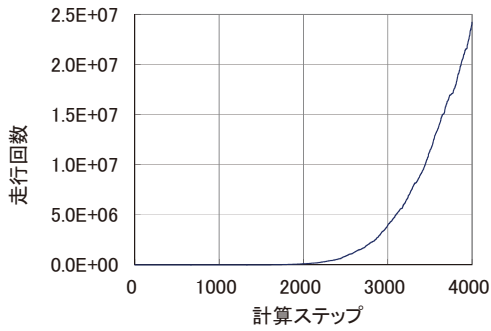


図-5.3.20 計算ステップと走行回数

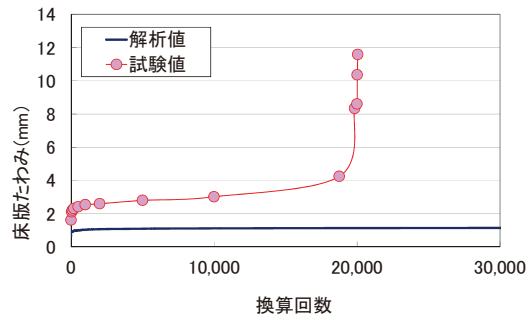
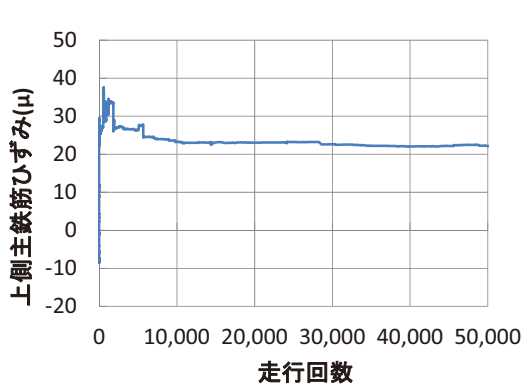
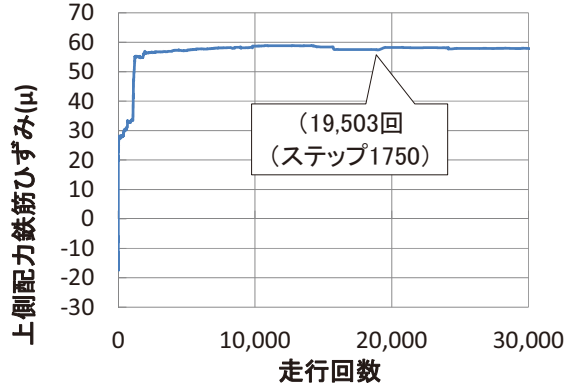


図-5.3.21 走行回数とたわみとの関係

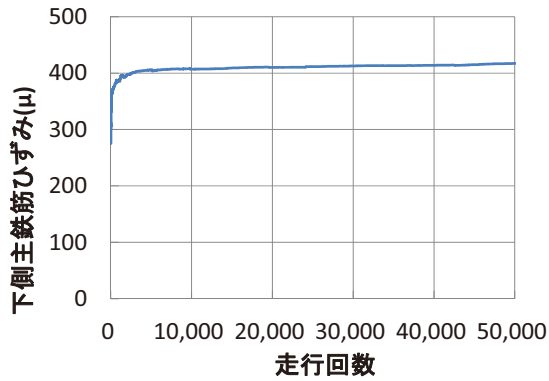
(ケース 2-2(貫通ひび割れあり)) (床版下面中央点)



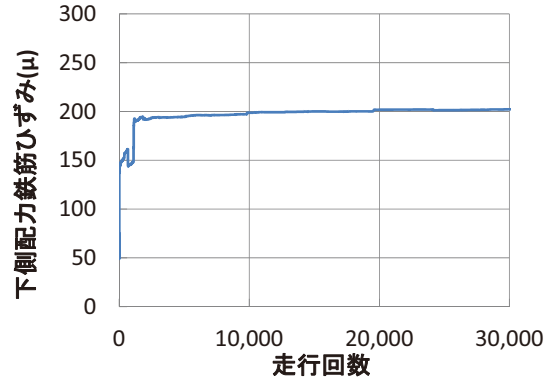
(a) 圧縮(上)側主鉄筋



(b) 圧縮(上)側配力鉄筋

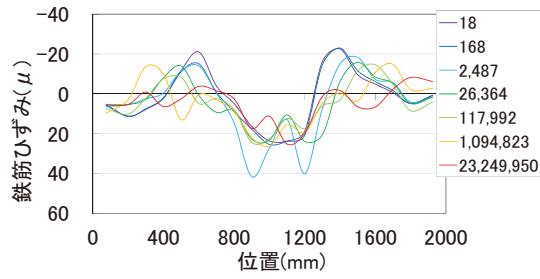


(c) 引張(下)側主鉄筋

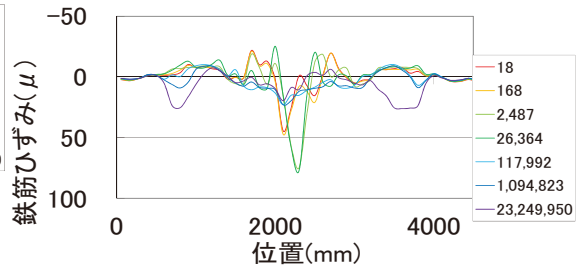


(d) 引張(下)側配力鉄筋

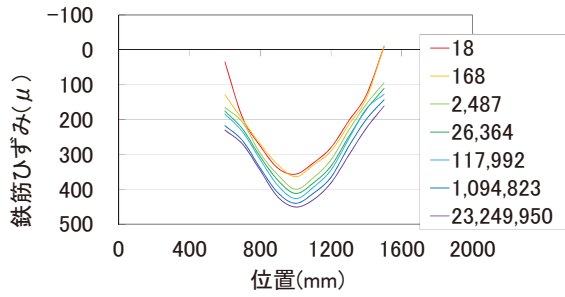
図-5.3.22 鉄筋ひずみの推移 (ケース 2-2(貫通ひび割れあり))



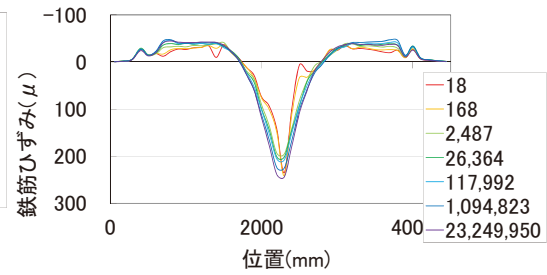
(a) 圧縮(上)側主鉄筋



(b) 圧縮(上)側配力筋

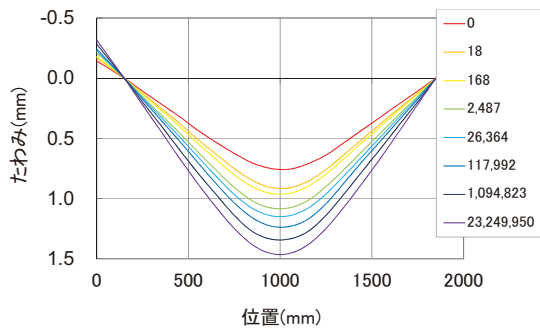


(c) 引張(下)側主鉄筋

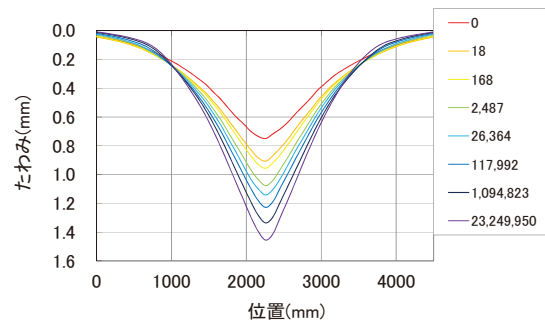


(d) 引張(下)側配力筋

図-5.3.23 鉄筋ひずみ分布の推移 (ケース 2-2(貫通ひび割れあり))



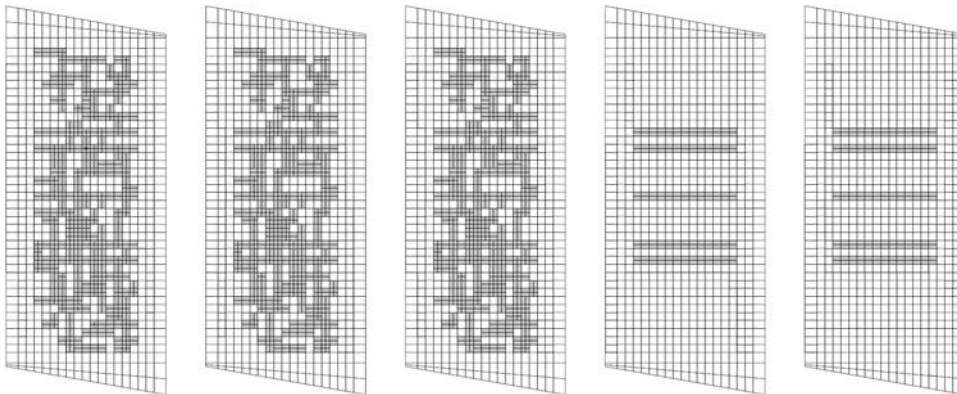
(a) 橋軸直角(床版支間)方向



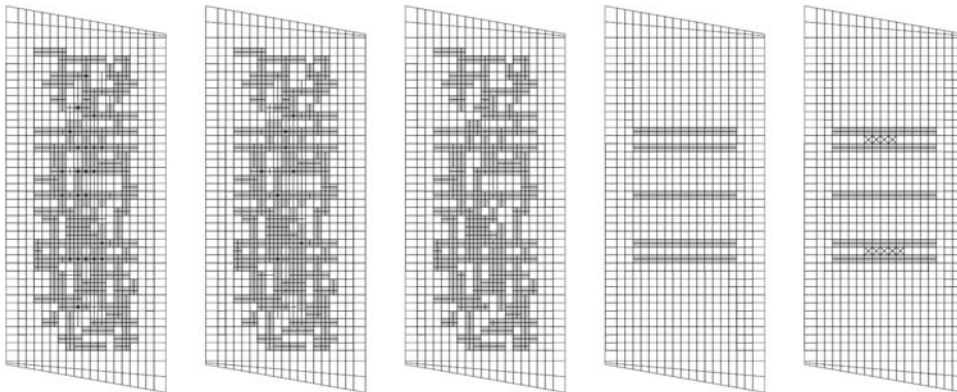
(b) 橋軸方向

図-5.3.24 活荷重たわみ分布の推移 (ケース 2-2(貫通ひび割れあり))

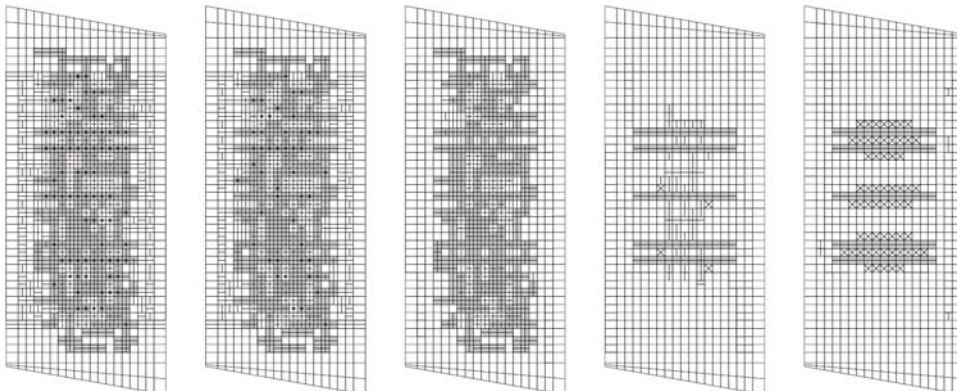
(a) Step20 (走行回数 0 回、劣化床版 No. 1)



(b) Step200 (走行回数 0 回、劣化床版 No. 1)



(c) Step1400 (走行回数 1400 回、劣化床版 No. 1)



<凡例>	
	X方向剛性低下
	Y方向剛性低下
	XY2方向剛性低下
	Z方向剛性低下
	XYZ3方向剛性低下

※グレー着色部が
初期導入ひび割れ

図-5.3.25 剛性低下要素の増加傾向 (ケース 2-2(貫通ひび割れあり))

(6) 破壊の定義における整理

解析結果から、2.2 で設定したそれぞれの破壊定義に該当する走行回数を表-5.3.4 に、解析結果との比較を図-5.3.26 に示す。

破壊の定義 A についてはケース 2-1,2-2 とも走行回数がほぼ 0 回という結果となった。これは、図-5.3.14 及び図-5.3.20 に示すように初期の段階からかなり大きなたわみが発生していることから、当該床版は、定義 A で評価できない劣化程度である可能性が考えられる。一方、定義 C においては、実験結果と同様に貫通ひび割れのあるケース 2-2 の方が破壊までの回数が少なく、輪荷重走行試験と同様の結果となった。

以上のことから、ひび割れ性状が進行している既設床版においては、定義 A による評価が困難な段階となっている可能性があること。また、定義 C と剛性低下領域の拡大傾向など総合的な評価により、貫通ひび割れの有無に対する疲労耐久性の相対評価が可能であり、本耐久性評価手法を既設橋の現有耐力照査への適用できる可能性があることがわかった。

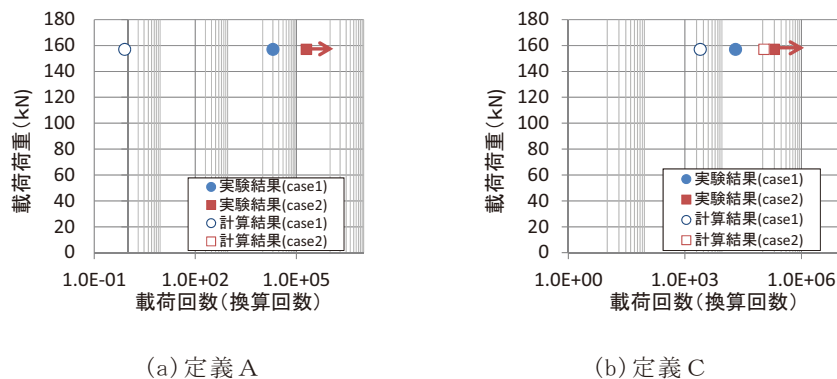
表-5.3.4 case1,2 試験結果と解析結果の比較

	定義 A	定義 C	実験結果
ケース 2-1 (供試体 No.25)	0 回 (63Step)	110,000 回 (2000Step)	200,000 回以上
ケース 2-2 (供試体 No.1)	0.8 回 (660Step)	2,490 回 (1400Step)	20,050 回

定義 A：上側配力鉄筋が引張側に応力が転換した回数を疲労破壊の限界値とする。

定義 B：第 1 層（最上層）に剛性低下要素が生じた回数を限界値とする。

定義 C：第 2 層に z 方向の剛性低下（水平方向にひび割れが発生）した回数を限界値とする。



(a) 定義 A

(b) 定義 C

図-5.3.26 case1,2 試験結果と解析結果の比較

5.4 まとめ

- ひび割れのない状態から、供試体 No.25（貫通ひび割れなし）及び供試体 No.1（貫通ひび割れのあり）の状態を把握するための再現解析を実施したところ、No.25 と解析結果が同等となる状態は、5層に分けた床版の上層から2層目に縦方向の剛性低下が生じている状態であった。また供試体 No.1 は、全層にわたって全ての方向における剛性低下が生じている状態であった。当該橋の特に貫通ひび割れが生じている床版は、本解析で表現可能なたわみ性状を超えて劣化が進行していた可能性がある。
- ケース 2-1（床版下面から3層目まであらかじめ剛性低下させたモデル）は床版の上から2層目に剛性低下領域が拡大していく傾向に対して、ケース 2-2（床版下面から上面まであらかじめ剛性低下させたモデル）は上面から2層目に拡がらずに、直上の最上層への破壊に進む傾向であった。
- 破壊の定義 A で整理した結果、ケース 2-1, 2-2 両者とも走行回数がほぼ 0 回という結果となった。これは、初期の段階からかなり大きなたわみが発生していることなどから、当該床版は定義 A で評価できない段階である。一方、定義 C においては、実験結果と同様に貫通ひび割れのあるケース 2-2 の方が疲労耐久性は低く、輪荷重走行試験と同様の結果となった。
- 本解析を用いた既設床版の疲労耐久性評価は、ひび割れが進行している場合には、たわみが再現できない。さらに、定義 A では評価が困難であるものの、定義 C では実験結果と同様のひび割れ形状や破壊回数の相対評価ができる可能性が示された。ただし、前項 2.2 においては「定義 C」を用いることで危険側の評価となる場合もあるため、適用に当たっては注意が必要である。

以上のことから、疲労耐久性評価手法を用いて既設橋の現有耐力照査を行う場合には、破壊の定義が危険側の評価となる場合もあることを十分理解した上で、剛性低下領域の拡大傾向との総合的な評価により参考とすることができることがわかった。

5 章 参考文献

- 5.1) 国土交通省：橋梁定期点検要領（案）,2004.3.
- 5.2) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について,
コンクリート工学協会第9回コンクリート工学年次講演会論文集,pp627-632,
1987.